



11 Número de publicación: **2 150 386**

21 Número de solicitud: 009802520

51 Int. Cl. 7: G01B 11/00
G01K 11/00

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación: **01.12.1998**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **16.11.2000**

43 Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
16.11.2000

71 Solicitante/s: **UNIVERSIDAD POLITECNICA
DE MADRID**
Ramiro de Maeztu nº 7
Vicerrectorado de Investigación
Madrid, ES

72 Inventor/es: **Güemes Gordo, J. Alfredo y
Menéndez Martín, José Manuel**

74 Agente: **No consta**

54 Título: **Sensor para la medida del índice de refracción y la temperatura de un fluido, consistente en un espejo tallado en el extremo de una fibra óptica y una o varias redes de difracción de Bragg inscritas en la fibra.**

57 Resumen:

Sensor para la medida del índice de refracción y la temperatura de un fluido, consistente en un espejo tallado en el extremo de una fibra óptica y una o varias redes de difracción de Bragg inscritas en la fibra. Sensor para la medida del índice de refracción, o del índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla reactante, consistente en un espejo tallado en el extremo de una fibra óptica y una o varias redes de difracción de Bragg inscritas en el núcleo de la fibra. La interrogación del sensor se realiza mediante un dispositivo que consiste en una fuente de luz blanca (no monocromática), un dispositivo analizador de espectro óptico, un acoplador óptico y, de forma optativa, un dispositivo de multiplexación óptica. El sensor permite obtener el índice de refracción del medio en que se encuentra inmerso su extremo especular a través de las variaciones de la potencia óptica reflejada en el mismo y detectadas por el analizador, mientras que los espectros de reflexión de la red o redes de difracción integradas en el sensor operan como señales de referencia que permiten discriminar y compensar los posibles errores debidos a fluctuaciones de potencia de la fuente de luz o perturbaciones en el camino óptico. Adicionalmente, el dispositivo descrito puede operar como sensor de temperatura, midiendo el desplazamiento de la longitud de onda de Bragg de la red o redes más cercanas al espejo tallado.

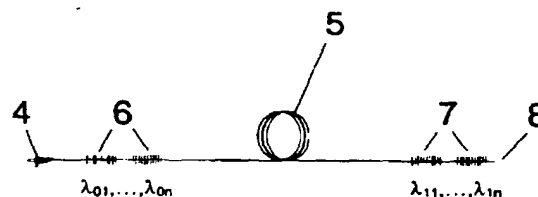


FIG. 1

ES 2 150 386 A1

DESCRIPCION

Sensor para la medida del índice de refracción y la temperatura de un fluido, consistente en un espejo tallado en el extremo de una fibra óptica y una o varias redes de difracción de Bragg inscritas en la fibra.

Objeto de la invención

La presente memoria descriptiva se refiere a una solicitud de Patente de Invención, relativa a un sensor para la medida del índice de refracción, o del índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla reactante, consistente en un espejo tallado en el extremo de una fibra óptica y una o varias redes de Bragg inscritas en la fibra.

Campo de la invención

El sensor puede enmarcarse en el campo de los dispositivos optoelectrónicos integrados, en particular en el área de sensores ópticos, y tiene su campo de aplicación en cualquier sector industrial, tecnológico o científico relacionado con procesos que requieran de la determinación del índice de refracción, o del índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla fluida.

Tiene interés particular para la monitorización *in situ* del curado de materiales compuestos.

Antecedentes de la invención

La determinación del índice de refracción es una técnica habitual para el análisis de la composición de un fluido o mezcla reactante, o del estado del proceso a que éste se encuentra sometido.

Aunque existen diversos procedimientos experimentales para la obtención del índice de refracción de un fluido, en ciertos procesos que implican transformaciones químicas es de gran utilidad la determinación de dicho parámetro en el instante en el que dicho proceso está teniendo lugar, a fin de disponer de un registro de la evolución del mismo en condiciones reales.

Con este objeto han sido desarrollados algunos procedimientos que permiten esta monitorización *in situ*, algunos de ellos basados en el empleo de fibra óptica. Ha sido ya propuesto y empleado de forma experimental el empleo de una configuración basada en una fuente de luz conectada a través de un acoplador óptico 2 x 1 a una fibra óptica con un espejo tallado en su extremo, y un fotodetector conectado a la otra entrada del acoplador, que permite determinación el índice de refracción del fluido en que se halla inmerso el extremo especular midiendo las variaciones de la potencia luminosa reflejada en el mismo.

Sin embargo, las condiciones a que puede verse sometido tanto el medio cuyo índice de refracción se quiere medir como el resto del entorno del proceso pueden provocar perturbaciones en el camino óptico (debida a macro y micro-doblado de la fibra óptica, desplazamientos en los conectores, presencia de dispositivos de multiplexación, etc.) que modifican la potencia óptica que llega al fotodetector, lo que dará como resultado un error en la medida del índice de refracción.

Es necesario por tanto contar con una configuración de medida dotada de uno o varios elementos de referencia que permitan discriminar y compensar el efecto de dichas perturbaciones, de manera que el sistema sea capaz de discriminar las variaciones de la señal provocadas por los cambios

en el índice de refracción del medio, y las debidas a dichas perturbaciones.

Descripción de la invención

La función de discriminación y compensación de posibles perturbaciones en el camino óptico puede ser realizada con efectividad con una o varias redes de difracción de Bragg inscritas en fibra óptica. Además de dotar al sistema de un elemento interno de referencia, dichas redes permitirán determinar la temperatura del medio en que se encuentra inmerso el sensor, cuando se sitúa una de ellas en las proximidades del extremo especular de la fibra, en contacto con el medio a analizar.

Así mismo, pueden ser empleadas una o varias redes de difracción como referencia para discriminar y compensar las variaciones de la señal provocadas por fluctuaciones de potencia de la fuente de luz en caso de que ésta no contara con un sistema de estabilización interno.

El sensor propuesto consiste, según se describe en la figura 1, en un fragmento de fibra óptica (5), con uno de sus extremos, destinado a servir de conexión, provisto o no de un conector óptico (4), con una red o conjunto de redes de difracción de Bragg inscritas en el núcleo de la fibra (6) en las proximidades del extremo de conexión (en la figura, equipado con un conector), con longitudes de onda de Bragg $\lambda_{01} \dots \lambda_{0n}$ y reflectividades $r_{01} \dots r_{0n} \ll 1$ y otra red o conjunto de redes (7), con longitudes de onda de Bragg $\lambda_{11} \dots \lambda_{1n}$, y reflectividades $r_{11} \dots r_{1n} < 1$ próximas al otro extremo, que ha sido cortado dándole un acabado especular (8).

Las figuras (2) y (3) muestran detalles de una de las redes de difracción del primer conjunto (6), mostrando la cubierta de la fibra (20), el núcleo (21) y la red inscrita (22), y una de las redes de difracción del segundo conjunto (7) y el extremo especular (8).

El sistema propuesto para interrogar el sensor aparece descrito en la figura 5 en su forma más esquemática: una fuente de luz blanca (no monocromática) (1), que inyecta luz en una fibra óptica unida, a una de las entradas de un acoplador óptico 2 x 1 (3), mientras que la otra entrada se conecta a un dispositivo analizador de espectro óptico (2). La salida del acoplador óptico se une (en la figura, mediante la conexión (4)) al dispositivo sensor propiamente dicho, o cabeza sensora, que aparece recuadrada en la figura.

La figura 4 muestra una variante del sensor, que elimina el primer conjunto de redes de referencia (6).

El funcionamiento del sistema es como sigue. La luz emitida por la fuente de luz blanca (1) incide a través del acoplador (3) y la conexión (4) en la fibra que contiene las redes o conjuntos de redes de difracción (6) y (7), y tras atravesar estas últimas incide en el extremo especular (8) inmerso en el medio a analizar. Una gran parte de la luz se pierde a través de esta superficie, pero parte de ella se refleja de nuevo hacia la fibra. La cantidad de luz reflejada es función de la relación entre los índices de refracción del núcleo de la fibra óptica y del medio, a través de la ley de Fresnel, que relaciona la reflectividad de la superficie entre los dos medios con el cociente entre sus respectivos

índices de refracción. Conocida la reflectividad de dicha superficie y el índice de refracción del núcleo de la fibra óptica, es posible calcular el índice de refracción del medio a analizar.

La reflectividad no es, sin embargo, un parámetro de obtención directa. Tanto si el dispositivo empleado es un fotodetector, como si es un dispositivo analizador de espectro óptico, el dato de salida que ofrecen ambos equipos es potencia luminosa. Sin embargo, y en ambos casos, conocida la potencia luminosa correspondiente a la reflectividad en dos medios patrón de índices de refracción diferentes, es posible establecer una correlación entre la potencia luminosa detectada y la reflectividad. Un dispositivo basado en el esquema fuente/extremo especular/fotodetector requiere ser calibrado empleando medios patrón previamente a cada medición. El dispositivo sensor propuesto permite, sin embargo, determinar la reflectividad del extremo especular sin el empleo de medios patrón, conocida la reflectividad de una de las redes de la cabeza sensora.

La luz que llega al dispositivo analizador de espectro óptico tras atravesar nuevamente por el acoplador óptico se compone de un espectro blanco procedente de las reflexiones parciales que se producen en el acoplador, los conectores y la superficie especular, y uno o varios espectros monocromáticos procedentes de las redes de difracción.

Midiendo la variación de potencia de la señal blanca es posible obtener una medida del índice de refracción siempre que el camino óptico no esté sometido a perturbaciones que provoquen pérdidas en la fibra, y siempre que la fuente de luz permanezca estable.

Si el camino óptico situado entre la red o redes de difracción (6) próximas a la conexión (4) y la red o redes de difracción (7) cercanas al extremo especular (8) está sometido a perturbaciones, la señal blanca reflejada por la superficie especular y el espectro o los espectros monocromáticos de la red o redes de difracción próximas a él se verán afectados de igual manera (salvo una ligera desviación en la señal blanca en las longitudes de onda $\lambda_{11} \dots \lambda_{1n}$ debida a la presencia de las redes de difracción, que se ha asegurado sea pequeña obligando a que $r_{11} \dots r_{1n} < < 1$). Sin embargo, una variación del índice de refracción no afectará a los espectros reflejados de las redes, por lo que es posible discriminar y compensar las variaciones de la señal blanca de la reflexión en la superficie tallada debidas a cambios en el índice de refracción del medio de las variaciones debidas a perturbaciones del camino óptico. El espectro reflejado de las redes próximas al conector no se verá influido ni por las variaciones del índice de refracción ni por las perturbaciones.

De la misma manera, si la fuente de luz (1) sufre fluctuaciones de potencia, la señal blanca reflejada por la superficie especular (8), el espectro o los espectros monocromáticos de la red o redes de difracción situadas en las proximidades de la conexión (6), y el espectro o los espectros monocromáticos de la red o redes de difracción situadas en las proximidades del extremo especular (7) se verán afectados de igual manera (con la salvedad de la ligera desviación en la señal blanca

en las longitudes de onda $\lambda_{11} \dots \lambda_{1n}$ debida a la presencia de las redes, mencionada en el párrafo anterior). Sin embargo, una variación del índice de refracción o una perturbación en el camino óptico no afectará a los espectros reflejados de las redes (6), por lo que es posible emplear estas señales para discriminar y compensar las variaciones de la señal blanca de la reflexión en la superficie tallada debidas a cambios en el índice de refracción del medio y a perturbaciones en el camino óptico de las variaciones debidas a fluctuaciones en la fuente.

Así mismo, la temperatura del medio puede ser determinada midiendo la longitud de onda correspondiente al pico del espectro de una de las redes (7) próximas al extremo especular.

El sistema resulta fácilmente multiplexable, como muestra la figura 6. La incorporación de un conmutador óptico (9) permite interrogar varias cabezas de forma secuencial, permitiendo disponer de puntos de monitorización múltiples.

El sistema presenta además la capacidad de incorporar sensores adicionales basados en redes de difracción en el entorno de la cabeza sensora, que sin perturbar la medida de índice de refracción y temperatura permitirían medir diferentes parámetros del medio en que se hallan inmersos: deformaciones, esfuerzos residuales, velocidades de flujo, etc.

En resumen, la invención tiene como finalidad la medida del índice de refracción o el índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla reactante, mediante un dispositivo o cabeza sensora de fibra óptica dotada de referencias internas que permiten discriminar y compensar los errores de medida provocado por perturbaciones en el camino óptico y fluctuaciones de la fuente de luz, y que permite el acceso al medio a analizar en procesos que requieren una monitorización *in situ*, minimizando tanto las perturbaciones provocadas en el medio durante la medida como las provocadas por la presencia de la cabeza sensora en el material resultado del proceso en el caso de que éste consistiera en la obtención final de un producto sólido, como en el caso de procesos de curado de materiales compuestos, pudiendo además incluir sensores adicionales basados en redes de difracción que permitirían obtener otros parámetros característicos del proceso.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción realizada, y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, un juego de dibujos en los cuales con carácter ilustrativo, y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura número 1.- Muestra el esquema básico de la invención, relativa a un dispositivo sensor o cabeza sensora para la medida del índice de refracción o del índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla, consistente en un fragmento de fibra óptica (5) con uno de sus extremos destinado a servir de conexión (4) (en la figura, provisto de un conector óptico), con una red o conjunto de redes de difracción de Bragg inscritas en el núcleo de la fibra (6) en las proximidades del extremo destinado a servir de co-

nexión (4), con longitudes de onda de Bragg λ_{01} ... λ_{0n} , y reflectividades r_{01} ... $r_{0n} \ll 1$ y otra red o conjunto de redes (7), con longitudes de onda de Bragg λ_{11} ... λ_{1n} , y reflectividades λ_{11} ... $\lambda_{1n} \ll 1$ próximas al otro extremo que ha sido cortado dándole un acabado especular (8). A este dispositivo se le denomina de forma simplificada Cabeza Sensora Tipo II.

La figura número 2.- Muestra un detalle de la cabeza sensora de fibra óptica, que incluye la red o una de las redes de difracción (6) que sirven de referencia para discriminar y compensar las fluctuaciones de potencia de la fuente de luz. La figura muestra la cubierta de la fibra (20), el núcleo (21), y la red de difracción inscrita en el núcleo (22).

La figura número 3.- Muestra un detalle del extremo de la cabeza sensora. La figura muestra la cubierta de la fibra (20), el núcleo (21), la red o una de las redes de difracción (7) dispuestas para discriminar y compensar las variaciones de potencia por perturbaciones en el camino óptico, inscrita en el núcleo (22), y el extremo especular (8).

La figura número 4.- Muestra una modificación del dispositivo sensor representado en la figura número 1, que elimina la red o redes de discriminación y compensación de fluctuaciones de potencia de la fuente de luz (6). A este dispositivo se le denomina de forma simplificada Cabeza Sensora Tipo I.

La figura número 5.- Muestra un esquema básico de interrogación consistente en una fuente de luz blanca (no monocromática) (1), que inyecta luz en una fibra óptica unida a un acoplador óptico 2 x 1 (3), cuya otra entrada está conectada a un dispositivo analizador de espectro óptico (2). La salida del acoplador óptico se une (en la figura, mediante la conexión (4)) al dispositivo sensor Tipo II descrito en la figura 1, que aparece recuadrado.

La figura número 6.- Muestra una modificación del esquema de interrogación de la figura número 5, que incorpora un conmutador óptico (9) que permite multiplexar de forma secuencial las señales procedentes de varias cabezas sensoras Tipo I situadas en diferentes fibras ópticas. La red o redes de discriminación y compensación de fluctuaciones de potencia de la fuente (6) apa-

recen integradas en el propio sistema de interrogación.

Modo de realización de la invención

La invención consiste en dos dispositivos sensores. El primer dispositivo sensor, descrito en la figura 1, consiste en un fragmento de fibra óptica (5) con uno de sus extremos destinado a servir de conexión (4) (en la figura, provisto de un conector óptico), con una red o conjunto de redes de difracción de Bragg inscritas en el núcleo de la fibra (6) en las proximidades del extremo destinado a servir de conexión (4), con longitudes de onda de Bragg λ_{01} ... λ_{0n} , y reflectividades r_{01} ... $r_{0n} \ll 1$ y otra red o conjunto de redes (7), con longitudes de onda de Bragg λ_{11} ... λ_{1n} , y reflectividades λ_{11} ... $\lambda_{1n} \ll 1$ próximas al otro extremo que ha sido cortado dándole un acabado especular (8). A este dispositivo se le denomina de forma simplificada Cabeza Sensora Tipo III.

El segundo dispositivo sensor, descrito en la figura 4, es una modificación del dispositivo sensor representado en la figura número 1, que elimina la red o redes de discriminación y compensación de fluctuaciones de potencia de la fuente de luz (6). A este dispositivo se le denomina de forma simplificada Cabeza Sensora Tipo I.

La configuración básica del sistema de interrogación del sensor de Tipo II, aparece representada en la figura 5. Consiste en una fuente de luz blanca (no monocromática) (1), que inyecta luz en una fibra óptica unida a un acoplador óptico 2 x 1 (3), cuya otra entrada está conectada a un dispositivo analizador de espectro óptico (2). La salida del acoplador óptico se une (en la figura, mediante la conexión (4)) al dispositivo sensor Tipo II, que aparece recuadrado en la figura.

La integración de un dispositivo de multiplexación en el sistema de interrogación permite emplear cabezas sensoras múltiples, que permiten disponer de varios puntos de medida. La figura 6 muestra una posible configuración de este tipo, que incorpora un conmutador óptico (9) que permite interrogar varias cabezas de forma secuencial. La configuración mostrada incorpora su propia red o redes de referencia de potencia (6), lo que permite emplear cabezas sensoras Tipo I (recuadrada una de ellas en la figura) contando todas ellas con la referencia de potencia común del sistema de interrogación.

REIVINDICACIONES

1. Sensor para la medida del índice de refracción o del índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla, **caracterizado** por estar compuesto de un fragmento de fibra óptica (5), provisto o no de un conector óptico en uno de sus extremos (4), con una red o conjunto de redes de difracción de Bragg inscritas en el núcleo de la fibra en las proximidades del extremo destinado a servir de conexión (6), con longitudes de onda de Bragg $\lambda_{01} \dots \lambda_{0n}$, y reflectividades $r_{01} \dots r_{0n} < 1$ y otra red o conjunto de redes (7), con longitudes de onda de Bragg $\lambda_{11}, \dots, \lambda_{1n}$, y reflectividades $\lambda_{11}, \dots, \lambda_{1n} < 1$ próximas al otro extremo que ha sido cortado dándole un acabado especular (8).

2. Sensor para la medida del índice de refracción o del índice de refracción y la tempera-

tura de un fluido o mezcla, **caracterizado** por estar compuesto de un fragmento de fibra óptica (5), provisto o no de un conector óptico en uno de sus extremos (4), con una red o conjunto de redes de difracción de Bragg inscritas en el núcleo de la fibra con longitudes de onda de Bragg $\lambda_{11} \dots \lambda_{1n}$, y reflectividades $\lambda_{11} \dots \lambda_{1n} < 1$ próximas al otro extremo que ha sido cortado dándole un acabado especular (8).

3. Sensor según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado** por formar parte de un sistema para la medida del índice de refracción, o del índice de refracción y la temperatura de un fluido o mezcla de fluidos.

4. Sensor según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado** por formar parte de un sistema para la monitorización de procesos de curado de materiales compuestos.

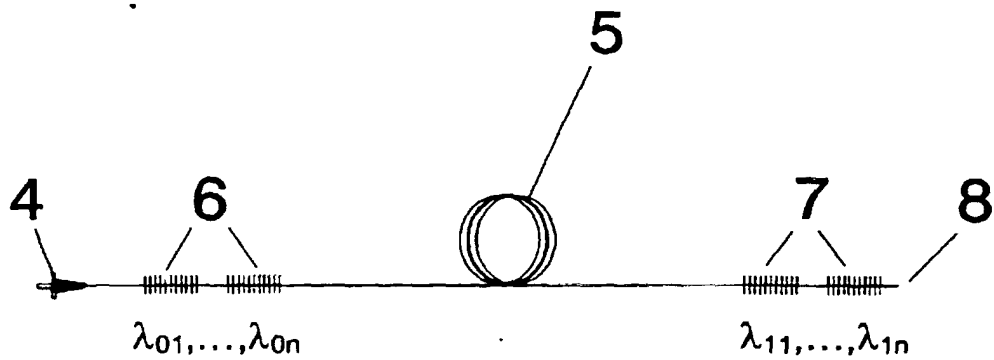


FIG. 1

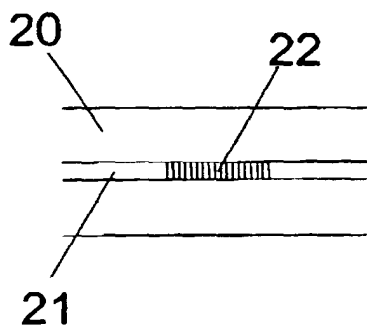


FIG. 2

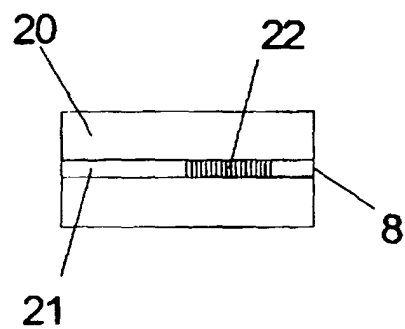


FIG. 3

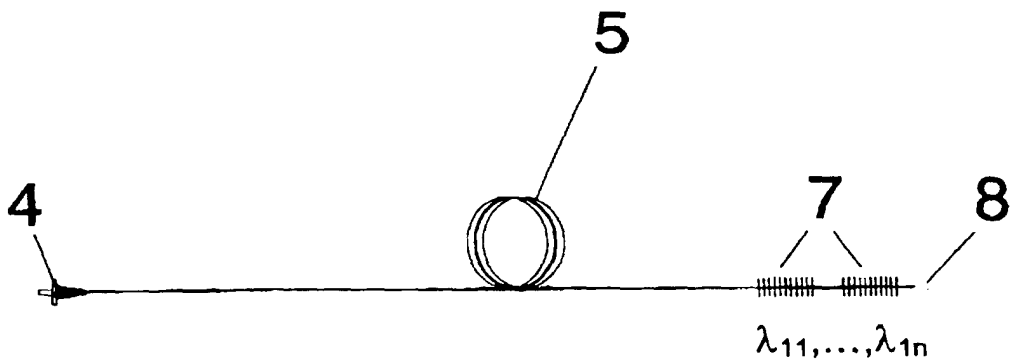


FIG. 4

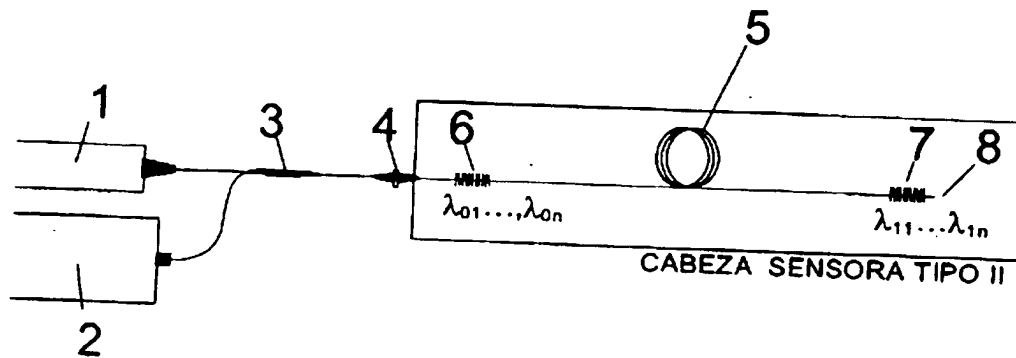


FIG. 5

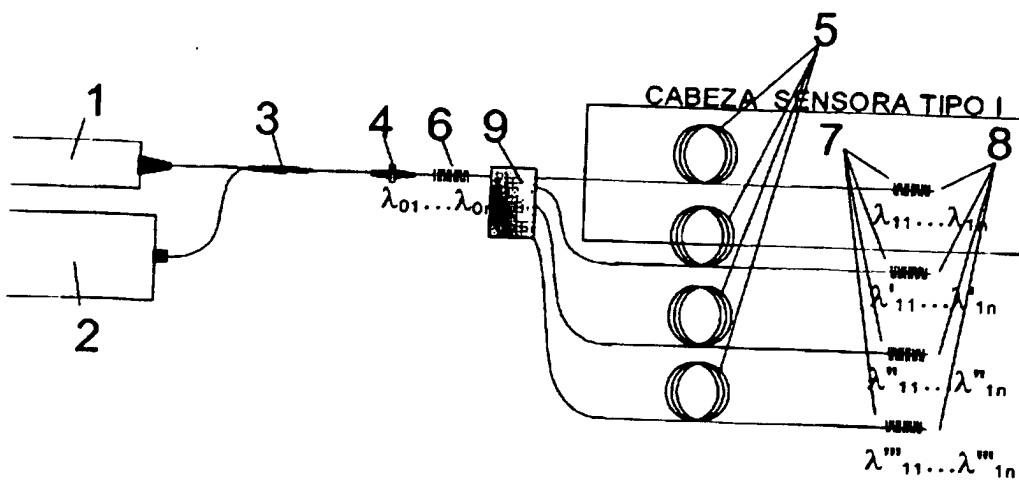


FIG. 6



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 150 386

⑫ N.º solicitud: 009802520

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 01.12.1998

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.⁷: G01B 11/00, G01K 11/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 5361130 A (KERSEY et al.) 01.11.1994, columna 1, línea 50 - columna 2, línea 3; columna 2, línea 38 - columna 4, línea 5; columna 8, línea 39 - columna 9, línea 19, figuras 1,2,7.	1-3
A	US 5684297 A (TARDY) 04.11.1997, todo el documento.	1-3
A	US 4996419 A (MOREY) 26.02.1991, columna 2, línea 35 - columna 7, línea 34; figura 1.	1-3
A	US 5426297 A (DUNPHY et al.) 20.06.1995, columna 1, línea 64 - columna 4, línea 21; figura 1.	1,3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 11.10.2000	Examinador A Navarro Farell	Página 1/1
--	--------------------------------	---------------